

## Rancang Bangun Sistem Pengukuran Frekuensi Getaran Akustik pada *Speaker* Piezoelektrik Menggunakan Sensor Serat Optik

Syerly Eka Putri\*, Harmadi

Jurusan Fisika, Universitas Andalas  
Kampus Limau Manis, Pauh Padang 25163  
\*syerlyekaputri@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Telah dirancang sistem pengukuran frekuensi getaran akustik pada *speaker* piezoelektrik menggunakan sensor serat optik dengan metode ekstrinsik. Sistem pengukuran terdiri dari serat optik *transmitter* dan *receiver* yang digunakan sebagai pandu gelombang cahaya. Perubahan intensitas cahaya yang dideteksi oleh fotodioda OPT101 mengakibatkan perubahan tegangan keluaran. Sinyal keluaran diproses menggunakan Arduino Uno dan ditampilkan pada LCD sebagai nilai frekuensi. Sumber getaran yang digunakan adalah elemen *speaker* piezoelektrik yang dibangkitkan menggunakan *function generator*. Berdasarkan data pengujian dan analisis yang telah dilakukan, sistem pengukuran frekuensi getaran akustik menggunakan sensor serat optik dapat mengukur frekuensi secara akurat pada rentang 1.000 Hz – 40.000 Hz. Standar deviasi data hasil pengukuran sebesar 0,03 dengan ketelitian 99,97% dan tingkat kesalahan 0,07%.

Kata Kunci: frekuensi, getaran akustik, serat optik, *speaker* piezoelektrik

### ABSTRACT

*The measurement system of acoustic vibration frequency on piezoelectric speaker using optical fiber sensor with extrinsic method has been designed. The measurement system consist of transmitter and receiver optical fiber as a light wave guide. Change in light intensity that detected by photodiode OPT101 cause change of output voltage. The output signal processed by Arduino Uno and displayed on LCD as a value of the frequency. The vibration source used was a piezoelectric speaker element that generated using a function generator. Based on test data and analysis, the acoustic vibration frequency measurement system using optical fiber sensor can be used to measure the frequency accurately in range of 1.000 Hz – 40.000 Hz. The standard deviation of the measured data is about 0.03 with precision of 99.97% and error of 0.07%.*

*Keywords: acoustic vibration, frequency, optical fiber, piezoelectric speaker*

## I. PENDAHULUAN

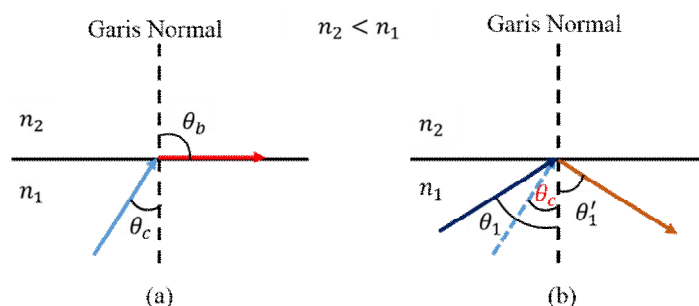
Getaran merupakan gerak bolak-balik pada lintasan yang sama yang dilakukan oleh sebuah objek secara periodik. Gerakan objek dari posisi awal menuju kiri dan kanan lalu kembali ke posisi semula disebut satu siklus getar. Waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus getar disebut sebagai periode getaran. Jumlah siklus getar yang dapat dilakukan suatu objek dalam waktu tertentu disebut frekuensi (Halliday dan Resnick, 2014). Setiap objek yang bergetar akan memberikan informasi tertentu sesuai dengan getaran yang dihasilkan. Misalnya getaran yang berlebihan pada mesin industri mengindikasikan bahwa mesin tersebut tidak dalam keadaan yang prima untuk dioperasikan sehingga dapat mengganggu proses produksi. Getaran yang terpantau misalnya pada sepeda motor, dapat mengidentifikasi secara akurat kondisi sepeda motor (Risa, 2016).

Getaran yang sering dijumpai di kehidupan sehari-hari adalah getaran akustik. Berdasarkan frekuensinya, getaran akustik terbagi atas tiga jenis yaitu infrasonik, sonik dan ultrasonik. Getaran infrasonik merupakan getaran dengan frekuensi di bawah 20 Hz. Getaran sonik memiliki frekuensi pada rentang 20 Hz - 20 kHz. Getaran dengan frekuensi diatas 20 kHz dikategorikan sebagai getaran ultrasonik. Getaran ultrasonik dapat dikembangkan di berbagai bidang. Pada bidang ilmu kedokteran, getaran ultrasonik digunakan untuk terapi dan sonografi medis. Getaran ultrasonik juga dapat dimanfaatkan untuk menguji kelayakan suatu bahan, peralatan, dan komponen mesin (Kuttruff, 2007). Oleh karena itu getaran merupakan sifat fisis yang harus terukur dan terpantau.

Metode pengukuran besaran getaran umumnya bersifat kontak langsung, artinya instrumen yang digunakan harus melakukan kontak dengan objek yang diukur. Pengukuran secara kontak langsung memiliki banyak kelemahan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor

seperti suhu lingkungan yang tinggi dan posisi objek yang sulit dijangkau. Salah satu cara mengatasi kendala tersebut dengan menggunakan metode optik. Kelebihan dari pengukuran menggunakan metode optik diantaranya yaitu memiliki respon pengukuran yang sangat cepat, presisi yang tinggi dan akurasi yang baik. Pengukuran getaran menggunakan metode optik salah satunya dilakukan dengan memanfaatkan serat optik.

Serat optik merupakan sebuah pandu gelombang elektromagnetik yang terbuat dari bahan kaca atau plastik. Prinsip kerja serat optik menggunakan prinsip pemantulan sempurna (*Total Internal Reflection*) (Udd, 1991). Syarat terjadinya pemantulan sempurna yaitu indeks bias medium pertama ( $n_1$ ) lebih besar daripada indeks bias medium kedua ( $n_2$ ) dan sudut datang terhadap bidang batas antara kedua medium lebih besar daripada sudut kritis ( $\theta_c$ ) seperti yang terlihat pada Gambar 1.b. Sudut kritis adalah sudut datang sebuah sinar ketika melewati bidang batas antara dua medium sehingga membentuk sudut bias  $\theta_b$  sebesar  $90^\circ$  seperti pada Gambar 1.a.



**Gambar 1** (a) Sudut datang sebesar  $\theta_c$  (b) Sudut datang lebih besar dari  $\theta_c$

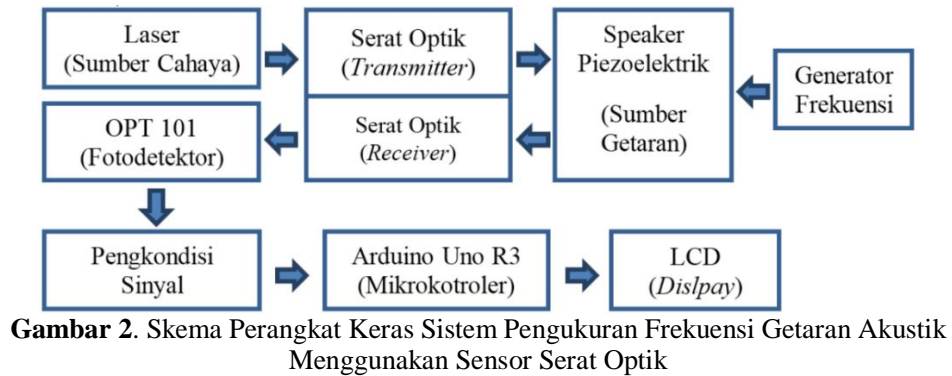
Pengukuran getaran menggunakan serat optik telah dikembangkan oleh beberapa peneliti, diantaranya Zulaichah (2004) memanfaatkan sensor serat optik tipe *step-index multimode* untuk mengubah besaran *displacement* menjadi tegangan. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa semakin besar *displacement* pada *lateral misalignment* maka daya yang ditransmisikan mengalami rugi daya yang semakin besar. Hariyanto (2011) merancang sebuah sensor getaran menggunakan *directional coupler* dari serat optik plastik tipe *step-index multimode* sebagai pandu gelombang dan pembagi berkas. Sensor tersebut mempunyai daerah kerja baik pada 20 Hz - 1900 Hz dengan kesalahan rata-rata 0,6 Hz. Saputro (2014) merancang sistem sensor serat optik tipe *step-index multimode* untuk pengukuran frekuensi getaran akustik. Sistem sensor tersebut dapat mengukur getaran akustik dalam rentang frekuensi 52 Hz - 360 Hz, dengan tingkat ketepatan rata-rata 93,58%. Pada umumnya penelitian yang telah dilakukan berada pada rentang frekuensi rendah, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut agar sistem pengukuran berbasis serat optik dapat mengukur getaran akustik dengan frekuensi lebih tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengukuran frekuensi getaran akustik menggunakan sensor serat optik sehingga dapat menjadi metode alternatif dalam mengukur frekuensi getaran. Pengukuran dilakukan terhadap *speaker* piezoelektrik dengan frekuensi respon pada daerah frekuensi sonik dan ultrasonik.

## II. METODE

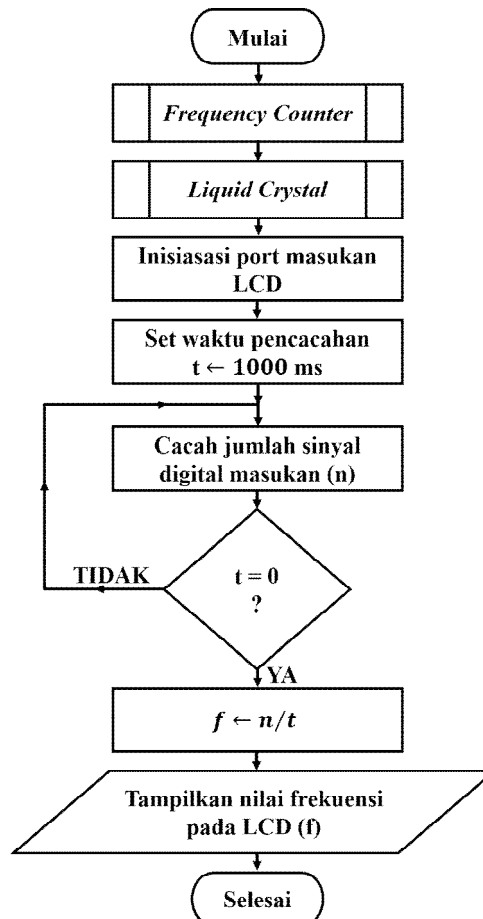
### 2.1 Rancangan Perangkat Keras Sistem Pengukuran

Perancangan perangkat keras sistem pengukuran frekuensi getaran akustik menggunakan sensor serat optik dibentuk secara terpadu seperti pada Gambar 2. Perangkat keras sistem pengukuran terdiri atas serat optik FD 620-10 tipe *step-index multimode*, Arduino Uno R3, *Speaker* piezoelektrik, laser dioda, LCD dan pengkondisi sinyal. Sensor serat optik dirancang menggunakan metode ekstrinsik dimana proses pengindraan terjadi di luar serat optik tanpa melakukan modifikasi pada serat optik. Dua buah serat optik digandeng sebagai *receiver* dan *transmitter*. Penampil data hasil pengukuran menggunakan LCD 2x16. Data yang ditampilkan berupa nilai frekuensi hasil pengukuran.



## 2.2 Rancangan Perangkat Lunak Sistem Pengukuran

Desain perangkat lunak dibuat untuk memproses sinyal masukan dari sensor. Program yang ditanamkan ke dalam mikrokontroler pada Arduino Uno menggunakan bahasa C. Pemrograman pada *board* Arduino membutuhkan aplikasi IDE (*Integrated Development Enviroment*) bawaan dari Arduino. Aplikasi IDE dapat diunduh di *official website* <http://www.arduino.cc/>.



**Gambar 3.** Diagram Alir Program Pengukuran Frekuensi Getaran

Pemrograman diawali dengan memanggil *library frequency counter* yang telah diunduh dan *library liquid crystal* yang telah tersedia pada *library* IDE. *Port* masukan LCD perlu diinisiasikan terlebih dahulu secara berurutan. Kemudian waktu pencacahan sinyal digital diatur selama 1 detik. Program akan terus mencacah sinyal digital masukan selama 1 detik sehingga diperoleh nilai frekuensi yang terbaca pada sistem pengukuran. Nilai frekuensi akan

ditampilkan pada LCD. Diagram alir program pengukuran pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

### 2.3 Teknik Analisis Data

Analisis data merupakan proses untuk mengetahui tingkat ketepatan dan ketelitian dari suatu sistem pengukuran. Ketepatan (akurasi) merupakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Ketepatan dari sistem dapat ditentukan dari persentase kesalahan antara nilai aktual dengan nilai terlihat. Keluaran sistem pengukuran dibandingkan dengan besar frekuensi yang dibangkitkan oleh *function generator*. Besar persentase kesalahan pada pengujian suatu alat ukur dapat ditentukan dengan Persamaan (1).

$$e_n = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \quad (1)$$

Standar deviasi hasil pengukuran suatu rancangan alat ukur dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2), Persamaan (3), dan Persamaan (4).

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (e - \bar{e})^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

$$\text{Ketelitian} = 100\% - S_n \quad (3)$$

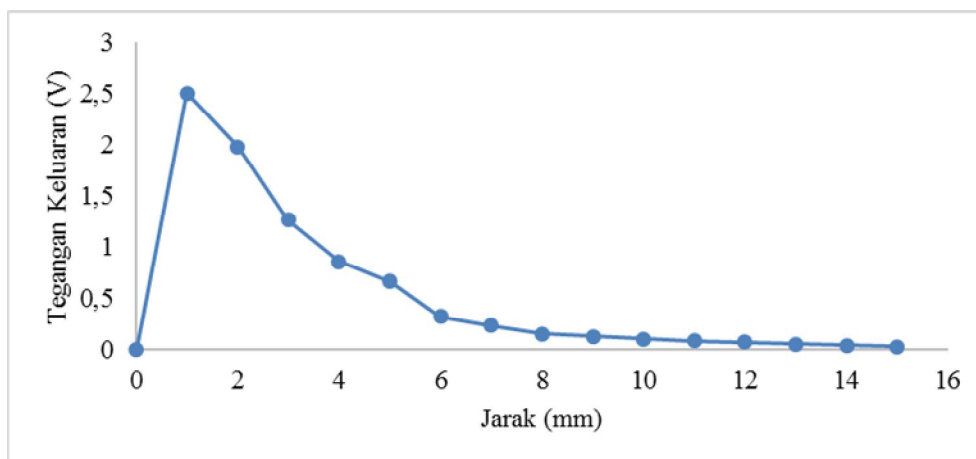
$$\text{Persentase Kesalahan} = \frac{S_n}{n} \times 100\% \quad (4)$$

$S_n$  adalah standar deviasi,  $e$  adalah error (dengan satuan %),  $\bar{e}$  adalah error rata-rata (dengan satuan %),  $n$  adalah jumlah data hasil pengukuran.

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Karakterisasi Sensor Serat Optik

Karakterisasi sensor perlu dilakukan untuk menggambarkan kemampuan sensor serat optik dalam mendeteksi pergeseran mikro. Karakterisasi dilakukan dengan cara memvariasikan jarak antara elemen *speaker* dengan ujung sensor serat optik. Hal ini akan menyebabkan tegangan keluaran pada fotodioda OPT101 yang terbaca pada multimeter digital akan berubah-ubah. Karakterisasi jarak sensor serat optik dimulai dari jarak 0–15 mm dengan beda 1 mm. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali pengulangan agar didapatkan hasil pengukuran yang teliti. Tegangan keluaran rata-rata diplot pada grafik terhadap variasi jarak sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Grafik Perubahan Jarak antara Elemen Speaker dan Serat Optik terhadap Tegangan Keluaran Fotodioda OPT101

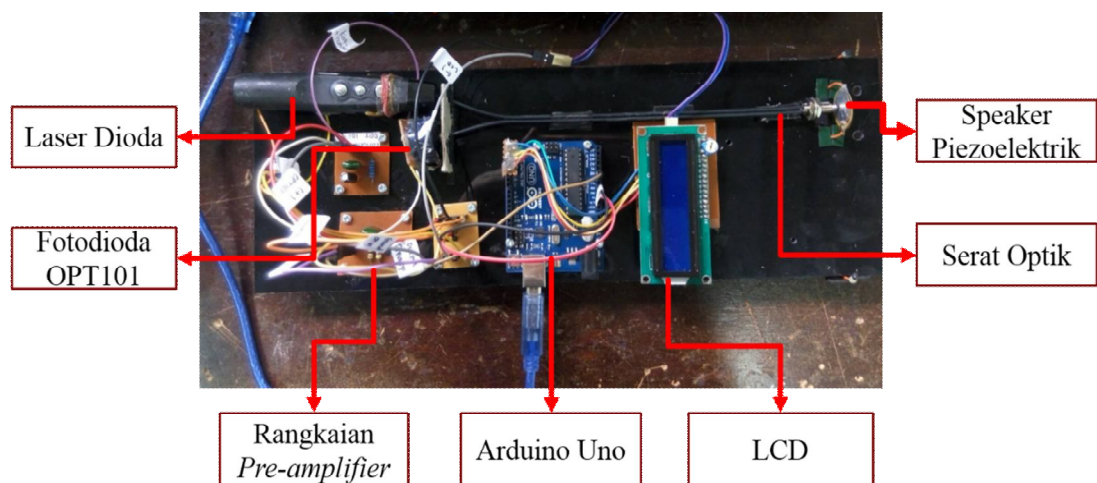
Gambar 4 merupakan grafik tegangan keluaran rata-rata fotodioda OPT101 saat dilakukan variasi jarak. Pada jarak 0–1 mm kecendrungan (*trend*) grafik meningkat, kemudian *trend* grafik semakin menurun menuju angka nol seiring bertambah jauhnya sensor serat optik terhadap elemen *speaker*. Puncak tertinggi grafik terjadi pada jarak 1 mm dengan tegangan keluaran 2,5 V. Hal ini menunjukkan bahwa sudut penerimaan cahaya pada serat optik *receiver* dengan jarak 1 mm berada dalam rentang nilai *Numerical Aperture* (NA) serat optik. Pada saat nilai sudut penerimaan lebih kecil dari pada nilai NA, maka cahaya yang dapat dipandu di sepanjang *core* akan semakin banyak. Begitu juga sebaliknya, saat jarak antara elemen *speaker* dan sensor serat optik semakin jauh, maka sudut penerimaan pada serat optik *receiver* lebih besar daripada nilai NA. Keadaan ini menyebabkan cahaya lebih banyak diserap oleh *cladding*. Secara perhitungan, nilai NA yang dimiliki oleh serat optik FD-620-10 sebesar  $11,55^\circ$ . Karakterisasi ini menjadi patokan untuk menentukan jarak terbaik untuk menempatkan sensor serat optik dan elemen *speaker*, yaitu pada jarak 1 mm.

### 3.2 Pengujian Keseluruhan Rancangan Sistem Pengukuran

Pengujian rancangan sistem pengukuran secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui kemampuan kerja masing-masing blok pada saat difungsikan secara bersamaan. Sistem pengukuran (Gambar 5) dioperasikan menggunakan catudaya dengan tegangan input sebesar 6 volt. Pada saat elemen *speaker* bergetar sesuai dengan nilai frekuensi yang diberikan oleh *function generator*, elemen *speaker* akan mengalami pergeseran dari posisi semula. Hal ini akan menyebabkan intensitas cahaya yang dipantulkan oleh elemen *speaker* menuju serat optik akan berubah-ubah. Perubahan intensitas cahaya akan dideteksi oleh fotodioda OPT101. Prinsip kerja fotodioda OPT101 yaitu intensitas cahaya yang diterima akan mempengaruhi tegangan keluaran.

Pemrograman data pada Arduino Uno membutuhkan sinyal digital yaitu keadaan *high* dan *low* sebagai data masukan. Oleh karena itu keluaran pada OPT101 harus dikondisikan terlebih dahulu menggunakan rangkaian *pre-amplifier*. Transistor pada rangkaian *pre-amplifier* berfungsi sebagai saklar sehingga menghasilkan kondisi jenuh dan *cut-off*. Pada saat arus basis bernilai cukup besar, maka arus kolektor bernilai maksimum sehingga mengalami saturasi. Keadaan ini dikategorikan sebagai logika *high* bernilai 1. Keadaan jenuh terjadi ketika arus pada basis sangat kecil mendekati 0 ampere, sehingga tak ada arus yang mengalir pada kaki kolektor transistor. Kondisi ini dinamakan *cut-off* dengan logika *low* yang bernilai 0.

Arduino Uno mencacah jumlah sinyal masukan digital tiap satu detik menggunakan *library frequency counter*. Hasil proses pencacahan tersebut merupakan nilai frekuensi elemen *speaker* yang diindra oleh sensor serat optik. Nilai frekuensi yang terukur akan dikirim ke LCD dan ditampilkan secara *real time* pada layar LCD.

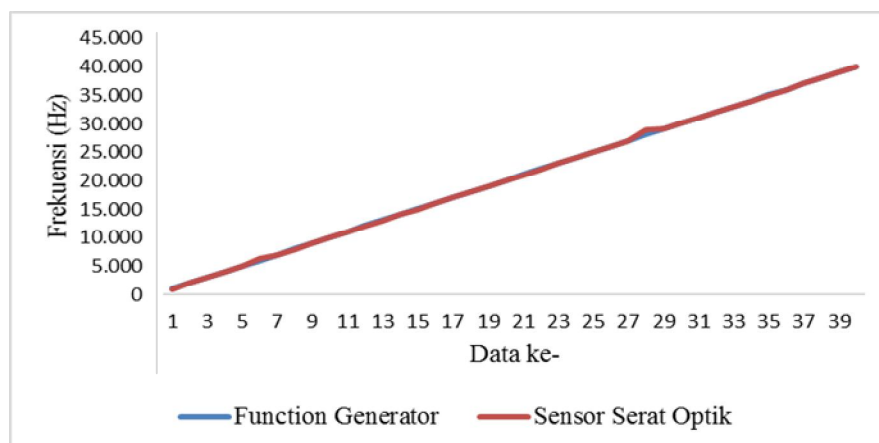


Gambar 5 Bentuk Fisik Sensor Getaran Akustik



### 3.3 Hasil Pengukuran

Pengujian sistem pengukuran dilakukan untuk melihat keakuratan sistem yang telah dirancang. Sumber getaran adalah elemen *speaker* piezoelektrik, sedangkan *function generator* digunakan sebagai pembangkit frekuensi pada elemen *speaker* sekaligus sebagai pembanding hasil pengukuran. Grafik perbandingan nilai frekuensi masukan *function generator* dan hasil pengukuran menggunakan sistem sensor serat optik dapat dilihat pada Gambar 6. Kurva berwarna biru merupakan frekuensi masukan *function generator* sedangkan kurva berwarna merah merupakan hasil pengukuran menggunakan sensor serat optik. Kecendrungan (trend) kedua kurva hampir sama meskipun masih ada beberapa data yang sedikit berbeda. Frekuensi yang diuji terhadap rancangan sistem pengukuran ini berada pada rentang 1.000 Hz – 40.000 Hz, dengan data hasil pengukuran yang diperoleh berjumlah 40 data. Standar deviasi data hasil pengukuran sebesar 0,03 dengan ketelitian 99,97% dan tingkat kesalahan 0,07%.



**Gambar 6** Grafik perbandingan nilai frekuensi masukan *function generator* dan hasil pengukuran frekuensi menggunakan sensor serat optik

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa rancangan sistem pengukuran menggunakan sensor serat optik telah mampu mengukur frekuensi getaran akustik pada *speaker* piezoelektrik secara akurat pada frekuensi 1.000 Hz – 40.000 Hz. Rancangan sistem pengukuran memiliki tingkat ketelitian 99,97%; tingkat kesalahan 0,07%; dan standar deviasi sebesar 0,03. Pengukuran paling efektif dilakukan pada saat jarak antara serat optik dan elemen *speaker* sebesar 1 mm. Hasil pengukuran frekuensi telah dapat dilakukan secara *real time* dengan ditampilkan secara langsung pada LCD.

## DAFTAR PUSTAKA

- Halliday, D dan Resnick, R., 2014, *Fundamental of Physics*, Edisi Kesepuluh, John Wiley & Sons Inc., Kanada.
- Hariyanto, E., 2011, Aplikasi Directional Coupler Serat Optik Mode Jamak sebagai Sensor Getaran Berbasis Modulasi Intensitas, *Tesis*, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Kuttruff, H., 2007, *Acoustics an Introduction*, Taylor and Francis, London.
- Risa, A. R., 2016, Sistem Identifikasi Sepeda Motor dengan Metode Predictive Maintenance (PdM) dan Dukungan Android serta Map Server, *Skripsi*, Jurusan Sistem Komputer, Universitas Andalas, Padang.
- Saputro, B. H., 2014, Aplikasi Sistem Sensor Serat Optik untuk Pengukuran Frekuensi Getaran Akustik, *Tesis*, Jurusan Fisika, Universitas Andalas, Padang.
- Udd, E., 1991, *Fiber Optics Sensors: an Introduction for Engineers and Scientist*, John Wiley and Sons, Inc., Kanada.
- Zulaichah, S., 2004, Pengukuran Frekuensi Getaran Menggunakan Serat Optik, *Skripsi*, Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.